

De Eifel als geologisch boeiend gebied is bij velen bekend. Ook dat vulkanische assen van de uitbarsting van de Laacher Seevulkaan in 12.900 v.Chr. over grote delen van Europa verspreid zijn (b.v. Schmincke, 1988, fig. 53). In een tweede, niet-geologische fase, zijn afzettingsproducten van de Laacher See en oudere, Tertiaire vulkanen nogmaals verspreid, waaronder in Nederland. Tufsteen is gebruikt als bouw materiaal, zowel als toevoeging aan bindmiddelen (tras) als bouwsteen. In dit artikel wordt een overzicht gegeven van deze toepassing, waarbij met name wordt ingegaan op het gebruik als bouwsteen en de verwerking van deze steen.



Afbeelding 2.

Kappen uit Römer tuf met daarop een hogel uit Weiberner of Hohen Ley tuf op een luchtboog van de St. Janskathedraal te 's-Hertogenbosch. Het betreft materiaal uit de bouw tijd.

Gebruik en verwerking van tufsteen in Nederlandse monumenten

Timo G. Nijland, Sonja Brendle,

Rob van Hees & Geert-Jan de Haas

T.G. Nijland, S. Brendle & R.P.J. van Hees, TNO Bouw, Postbus 49, 2600 AA Delft

G.J.L.M. de Haas, Inst. for Geologi & Bergteknikk, NTNU, Trondheim, Noorwegen; thans: NRG, Petten

Tras

Toepassing van gemalen tuf als puzzolaan (een component van een bindmiddel die een reactie aangaat met kalk, waardoor binding en sterkte ontstaat) was reeds aan de Romeinen bekend en werd onder de naam opus caementitium door hen ook in Germaanse streken toegepast (b.v. Lamprecht, 1996). In Nederland werd de tufsteen als blokken geïmporteerd en hier te lande tot tras vermalen. Door zelf te vermalen, had men een betere controle op de kwaliteit. Vanuit Nederland verbreidde het gebruik van tras zich weer via Frankrijk naar Engeland en Duitsland, waar Bernhard van Santen in 1612 te Brohl de eerste trasmolen stichtte (Michaelis, 1895; Hambloch, 1903). Tras is ook gebruikt als puzzolane toevoeging aan beton voor

waterbouwkundige werken om dit dichter te maken. Voorbeelden in Nederland zijn de uit de jaren '20 van de vorige eeuw daterende Noordersluis te IJmuiden en de Hartelhaven in Rotterdam, uit de jaren '70.

Historische toepassing van tufsteen als bouwsteen

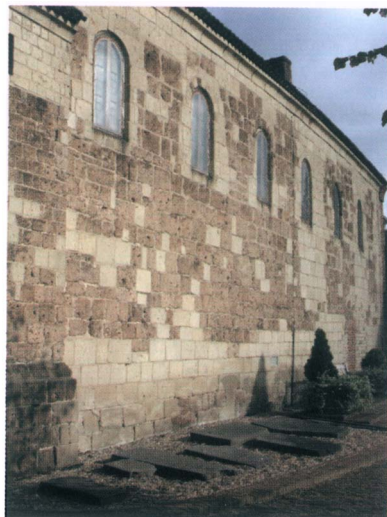
De toepassing van tufsteen als bouwsteen in Nederland gaat terug tot de Romeinen. Dezelfde soort, dan ook niet voor niets als Römer tuf aangeduid, werd ook later, in de Romaanse periode, van de 10^e tot begin 13^e eeuw, toegepast en was de meest gebruikte soort natuursteen (Slinger et al., 1980; Afb. 1). Andere namen voor Römer tuf in de Nederlandse literatuur zijn *duifsteen*, *trastuf*, *lapilituf* en *Andernach tuf*. Deventer en Utrecht waren stapelplaatsen. Römer tuf is schaars in Twente en Limburg, maar werd verder toegepast over het hele land, zowel in de romaanse kerken in Groningen (De Olde, 2002, 2003) en Holland (Den Hartog, 2002) als in het Utrechtse kerkenkruis van bisschop Berend uit de eerste helft van de 11^e eeuw. Ook in Romaanse en Vroeg-Gothische kerken in Belgisch Limburg komt tuf voor, veelal als secundair gebruikt Romeins materiaal (Dreesen et al., 2002). Tufsteen is ook toegepast in enkele via het Zwin bereikbare plaatsen in het westen van Vlaanderen (Brugge, Damme) (Slinger et al., 1980).

Later werd de tuf verdrongen door baksteen en andere natuursteen, waaronder de Bentheimer zandsteen. Maar in de 15^e en begin 16^e eeuw wordt tufsteen opnieuw toegepast, in het bijzonder de Hohen Ley (of Hohenleie) tuf, een variant van de Weibern tuf. Deze steen is onder andere toegepast in de O.L. Vrouwekerk te Zwolle, de Grotekerkstoren te Dordrecht en de kerktorens van Naarden en Kockengen (Slinger et al., 1980). Ook de eigenlijke Weiberner tuf werd in deze periode toegepast. De Weiberner tuf is, samen met Hohen Ley en Römer tuf, aanwezig in bijvoorbeeld de luchtbogen van de St. Janskathedraal te 's-Hertogenbosch (Afb. 2).

In de latere Middeleeuwen wordt veel Römer tuf uit oudere bouwwerken gerecycleerd, en toegepast als bekledingsmateriaal van baksteen muren. Zowel bij restauraties als bij nieuwbouw gedurende einde 19^e - eerste helft 20^e eeuw en na de oorlog zijn Weiberner, Ettringer en Hasenstoppler (een variant van de Ettringer) tuf veelvuldig toegepast. Bij restauraties zijn Ettringer tuf en/of Hasenstoppler tuf onder meer toegepast bij de Grote Kerk in Dordrecht (zowel eind jaren '20 als 1953 - 1966), de St. Stevenskerk te Nijmegen, waarvan de restauratie voltooid werd in 1969, de herbouw van de Eusebiustoren te Arnhem in de periode 1959 - 1964, en de Bovenkerk in Kampen (1958 - 1972) (Slinger et al., 1980).

Voorbeelden van toepassing bij nieuwbouw zijn onder andere de voormalige universiteitsbibliotheek van de TU Delft, de KAS Bank aan de Amsterdamse Spuistraat, gereed gekomen in 1932, waarvan de gehele gevel met Ettringer tuf bekleed is, en de St. Gergoriussschool aan de

Afbeelding 1.
Mozaïek van grovere, rossige Römer tuf en fijnkorrelige, gelige Weiberner tuf in de zuidwand van het schip van de Grote Kerk te Oosterbeek. De Romaanse kerk dateert uit de 10^e eeuw, maar is na de oorlog in 12^e eeuwse stijl herbouwd.



Utrechtse Kromme Nieuwegracht, waarvan de plint met tuf is bekleed.

Sinds 1974 wordt bij restauraties ook een uit de streek rond het Italiaanse Viterbo afkomstige tuf, bekend onder de naam peperino, toegepast, voor het eerst ten behoeve van de St. Janskathedraal te 's-Hertogenbosch (Slinger et al., 1980; Peeters, 1985).

Tufsteensoorten uit de Eifel

De voornaamste tufsteensoorten uit de Eifel zijn de Römer tuf, een product van de 11.900 jaar geleden v. Chr. uitbarsting van de Laacher Seevulkaan, en de Weiberner / Hohen Ley, Ettringer / Hasenstoppler en Riedener tuf. Deze laatste zijn producten van Tertiair vulkanisme in de Riedener caldera. De tufsteen wordt gevormd door de verharde delen van pyroclastische stromen en gloedwolkaftellingen die zijn gezeolitiseerd onder invloed van water.

De Römer tuf is een gelige, soms wat rossige tuf, met witte tot gele puimsteenfragmenten, en traditioneel betrekkelijk weinig andere gesteentefragmenten (Afb. 3a). Het merendeel van de Römer tuf dat

thans gewonnen wordt is afkomstig uit het onderste deel van de pyroclastische stromen, en bevat juist veel donkere gesteentefragmenten, met name bazalt (Afb. 3b). Stratigrafisch is de Römer afkomstig uit het middelste deel van de Laacher See tephra, een afzetting van phonolitische magma met daarin witte puimsteen (Van den Bogaard & Schmincke 1984). Met röntgendiffractie identificeerbare mineralen zijn naast kwarts (afkomstig uit gesteentefragmenten en xenocrysten) en zeolieten (zie hieronder), sanidien, soms microclien, olivijn (Mg-rijke fayaliet), Al-rijke augiet en sporadisch enkele fyllosilicaten (pyrophylliet, paragoniet, illiet), waarnaast calciet interstitieel voorkomt.

De Weiberner / Hohen Ley, Ettringer / Hasenstoppler en Riedener tuf zijn (oorspronkelijk) leucietrijke tuffen, lokaal in de oudere literatuur bekend onder de naam Selbergitische tuf. De exacte plaats waar hun eruptie heeft plaats gevonden is onbekend, maar is waarschijnlijk dichtbij Rieden geweest (Frenchen, 1971). Ze bestaan uit een magmatische component in een variabel omgezette matrix waarin zich ook talrijke gesteentefragmenten bevinden. De grootte

van deze laatste varieert van zeer fijn tot fijn in respectievelijk de Hohen Ley en Weiberner tuf, tot grover in de Ettringer en Hasen-stoppler tuf. Microscopisch en met röntgendiffractie herkenbare (magmatische) componenten zijn kristallen van sanidien (of in Weibern ook orthoklaas), leuciet (veelal omgezet naar analciem), Al-rijke augiet (met name in Ettringer), biotiet, muscoviet, magnetiet, titaniet en apatiet, naast glas en (glasrijke) puimsteen (Frenchen, 1971, Brendle, 2003, Nijland & Van Hees, 2003).

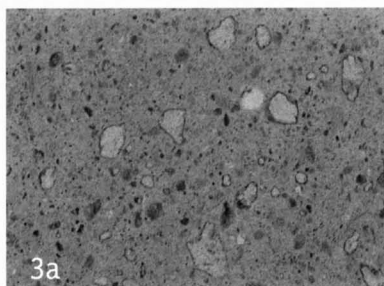
De Ettringer tuf is een is een gelig tot bruinig-beige tuf met veel gesteenteragmenten, zowel gelige puimsteen als donker nevengesteente (bazalt, leisteent, kwarts; Afb. 3c). Typisch voor de Ettringer tuf is ook het frequent optreden van illiet. De mate van consolidatie is nogal verschillend: Er zijn meer en minder verkitten banken, hetgeen zich meteen vertaalt in verschil in weervastheid en sterkte. Hasenstoppler tuf is een verschil van de Ettringer, veelal met een wat minder grove gesteentefragmenten, waardoor zij zich beter leent voor bewerking. Karakteristiek voor de Hasenstoppler is het optreden van oranje puimsteenfragmenten, waarvan de holtes opgevuld zijn met macroscopisch witte mineraalaggregaten (Afb. 3d).

De Weiberner en Hohen Ley tuf zijn bruinig beige tuffen met kleine puimsteen en gesteentefragmenten, beiden lenen zich goed voor fijn beeldhouwwerk (Afb. 3e). De Hohen Ley wordt reeds enige tijd niet meer gewonnen. De Riedener tuf is een groenige, zeer fijnkorrelige tuf met vrijwel geen grove gesteentefragmenten of puimsteen (Afb. 3f). Voor zover ons bekend is zij in Nederland niet toegepast.

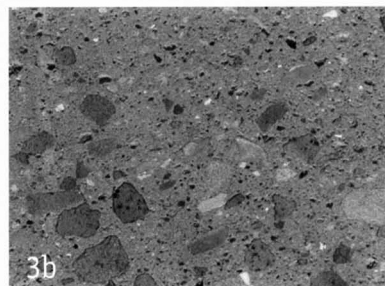
Zeolitatie van de tuf

Zeolieten vormen een belangrijke component van de meeste tufmonsters: Analciem als omzetting van leuciet, andere zeolieten als omzettingen van glas en puimsteen. Zeolitatie van matrix en puimsteenfragmenten hoeft niet gelijk op te lopen, en in één en dezelfde verticale sectie kan niet gezeolitiseerde tuf met vers glas zowel onder als boven gezeolitiseerde niveaus aanwezig zijn (b.v. Bernhard & Barth-Wirsching, 2002). In totaal zijn 45 monsters van zowel vers groevemate-

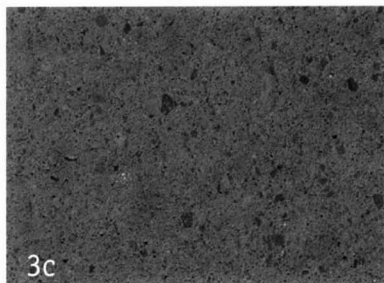
Afbeelding 3a.
Klassieke Römer tuf.



Afbeelding 3b.
Leverbare Römer tuf.



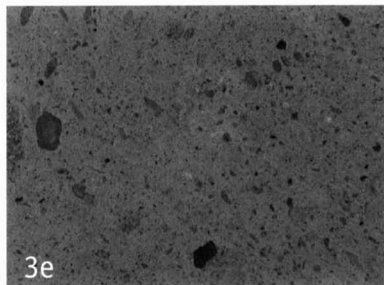
Afbeelding 3c.
Ettringer tuf.



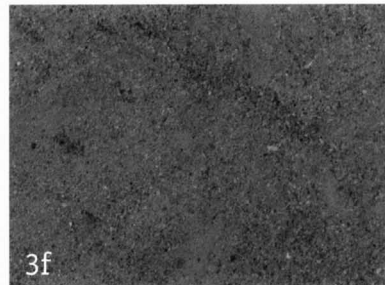
Afbeelding 3d.
Karakteristiek
puimsteenfragment in
Hasenstoppler tuf.



Afbeelding 3e.
Relatief grove Weiberner tuf.



Afbeelding 3f.
Riedener tuf.



riaal, als stenen verwijderd uit monumenten, als verweringsproducten door middel van röntgendiffractie onderzocht. Met uitzondering van 8 verweringsproducten, zijn zeolieten in alle monsters aanwezig.

Zowel in de Römer tuf als in de leuciet tuffen betreft het veelal chabaziet, phillipsiet en analciem, maar in twee monsters Ettringer tuf was ook merlinoiet aanwezig (Brendle, 2003). Merlinoiet was tot nu toe niet bekend uit de Eifel (Geuer, 2001), maar is nauw verwant aan phillipsiet (Passaglia et al., 1977). De vorming wordt bevordert door kleine verschillen in kalium/natriumverhouding (Colella et al., 1977; Donahoe et al., 1984). Qua zeolietassemblage zijn zowel de Römer tuf als de leuciet tuffen sterk gelijkend op de tuffstenen die in de regio van Napels in Italië veelvuldig als bouwsteen zijn toegepast (b.v. De'Gennaro et al., 1983, 1993, 2002). In één monster van Römer tuf, afkomstig van een van de oudste objecten in Nederland (H.J. Tolboom pers. com., 2002), is phillipsiet afwezig, hetgeen erop zou kunnen duiden dat de toen toegepaste tuf van een wezenlijk anders stratigrafisch of diagenetisch niveau komt. Ook in Weiberner tuf zijn chabaziet en phillipsiet soms afwezig, in plaats waarvan gismondien is aangetroffen (Nijland & Van Hees, 2003).

Verwering van tufsteen

Verwering van tufsteen in monumenten leidt tot verschillende fenomenen, (Muller, 1999; Brendle, 2003) zoals:

- verkleuring
- vorming van overkorstingen of neerslagproducten
- het uitververen van specifieke componenten, met name puimsteen, leidend tot de vorming van zogenaamde *alveoli*
- het afvallen van het gehele zichtvlak van de steen, met een dikte van > 1 cm, ook wel bekend onder de Engelse term *spalling*, of
- afbladering of exfoliation (Engels: *scaling*), het afkomen van relatief dunne (enkele mm) laagjes
- scheurvorming
- complete desintegratie en verpulvering
- optreden van uitbloei van zouten

Niet alle verweringsproducten komen even veelvuldig op alle soorten tufsteen voor. Zo lijkt uitbloei van zouten en hun kristallisatievlak achter het

zichtvlak, resulterend in afbladering, vooral op te treden bij Weiberner tuf, terwijl afvallen van het hele zichtvlak met name bij de Römer tuf optreedt. Scheurvorming is een fenomeen dat zich relatief vaak bij de Ettringer / Hasenstoppler tuf voordoet, maar alveoli lijken daarentegen frequenter te vormen in Römer tuf.

Mineralogisch lijken de meeste verweringsproducten nog steeds op de oorspronkelijke tufsteen, als men de onderlinge verhoudingen van de mineralen niet in acht neemt. Soms is echter een substantiële hoeveelheid amorf materiaal aanwezig, duidend op de aanwezigheid van amorfe of slecht kristallijne producten die mogelijk gevormd zijn door gedeeltelijk oplossen van mineralen.

Overkorsting op tufsteen, bijvoorbeeld onder waterlijsten, bestaan in hoofdzaak uit gips, terwijl uitbloei vrijwel altijd thenardiet betreft, al dan niet vergezeld van gips.

Het verweringsgedrag is voor een deel mineralogisch bepaald - zo is het frequenter voorkomen van illiet waarschijnlijk van invloed op de scheurvorming in de Ettringer tuf - maar het hygrisch gedrag speelt zo mogelijk nog een veel belangrijker rol. Tuffen zijn macroporeuze gesteenten, met 30 tot > 45 % poriën. Een deel hiervan is grof tot zeer grof, maar een aanmerkelijk deel ook veel fijner dan 1 micrometer. Vooral dit deel bepaalt de wateropname en het drooggedrag van de tuf. Tuf neemt snel water op, maar staat dit slechts zeer langzaam weer af (b.v. Rossi-Manaresi, 1976; Cioffi et al., 1991; Brendle, 2003). Tegelijkertijd is de uitzetting ten gevolge van wateropname aanzienlijk (Brendle, 2003), evenals het effect op de sterkte (Blacic, 1993).

Zones met verschillende waterverzadiging - denk aan een nat binnenste en droge zone langs het zichtvlak - zullen in verschillende mate uitzetten c.q. krimpen. Hierdoor ontstaan spanningen die kunnen bijdragen tot afvallen van het zichtvlak. Ook het transport van opgeloste bestanddelen (zouten) wordt in belangrijke mate door de poriestructuur bepaald: kristalliseren zij alleen uit als uitbloei op het zichtvlak, of vindt ook daarachter kristallisatie en daardoor spanningsopbouw plaats. Dat laatste is bij (een aantal soorten) van de fijne Weiberner tuf het geval.

Besluit

Zowel micro- als macroscopisch is tufsteen uit de Eifel een bijzonder open, poreuze steen. Deels bestaand uit puimsteenfragmenten die de neiging hebben specifiek uit te ververen, waardoor de steen gedurende zijn gebruiksperiode openener wordt, terwijl ook sommige mineralen in de steen oplossen, getuige de sterk afnemende analciemgehalten naar de rand in sommige verwerde monsters (Koch et al., 2001). Hoewel sterk afhankelijk van de kwaliteit van de toegepaste steen en detaillering van het object (met name waterhuishouding van de gevel), mag beslist niet de indruk ontstaan dat tuf geen duurzame steen is. Tijdens restauraties heeft men zich genoodzaakt gezien aanzienlijke hoeveelheden te vervangen, maar toch is ook nu nog steeds veel materiaal uit de bouwtijd aanwezig dat zich in goede staat bevindt.

Dankwoord

Dit artikel is de weerslag van een lezing gehouden op de NGV-themadag Eifel, en gebaseerd op resultaten van een tufsteenproject waaraan de volgende personen bereidwillig hun medewerking verleenden in de vorm van het beschikbaarstellen van monstermateriaal, toegang tot hun restauratiewerf, of discussie en verschaffen van informatie: C.W. Dubelaar (TNO-NITG), A. Krikke (Steenhouwerij Zederik), B. Massop (Restauratiearchitectuur BBM), H.J. Tolboom (Rijksdienst voor de Monumentenzorg) en E. de Vaal (De Vaal bv).

Literatuur

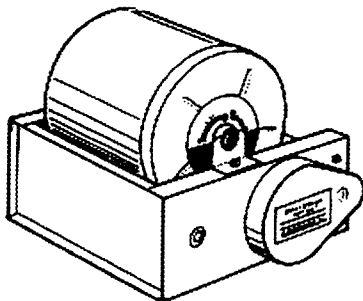
- Bernhard, F. & Barth-Wirsching, U., 2002. Zeolitization of a phonolitic ash flow by ground water in the Laach volcanic area, Eifel, Germany. *Clays and Clay Minerals* 50, p. 710-725.
- Blacic, J.D., 1993. Hydration swelling effects on time-dependent deformation of zeolitized tuff. *Journal of Geophysical Research* 98B, p. 15909-15917.
- Bogaard, P. van den & Schmincke, H.U., 1984. The eruptive center of the late Quaternary Laacher See tephra. *Geologische Rundschau* 73, p. 933-980.
- Brendle, S., 2003. Weathering of tuff stone. TNO Bouw rapport 2003-CI-R0044, 106 pp.
- Cioffi, R., Marino, O. & Mascolo, G., 1991. The physical action of water on the decay of building grey-tuffstone. *Materials Engineering* 2, p. 663-275.

- Colella, C., Aiello, R. & Ludovico, V. di, 1977. Sulla merlinoite sintetica. Rendiconti Società Italiana di Mineralogia e Petrologia 33, p. 511-518.
- Donahoe, R.J., Liou, J.G. & Guldman, S., 1984. Synthesis and characterization of zeolites in the system $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$. Clays and Clay Minerals 32, p. 433-443.
- Dreesen, R., Duser, M. & Doperé, F., 2001. Natuursteen in Limburgse monumenten. Provinciaal Natuurcentrum, Genk, 294 pp.
- Frenchen, J., 1971. Siebengebirge am Rhein - Laacher Vulkangebiet - Maargebiet der Westeifel. Vulkanisch-petrographische Exkursionen. Sammlung geologische Führer 56, 2^e druk, Börntrager, Berlin / Stuttgart, 195 pp.
- Gennaro, M. de', Calcaterra, D., Cappelletti, P., Langella, A. & Morra, V., 2000. Building stone and related weathering in the architecture of the ancient city of Naples. Journal of Cultural Heritage 1, p. 399-414.
- Gennaro, M. de', Colella, C., Franco, E. & Aiello, R., 1983. Italian zeolites 1. Mineralogical and technical features of Neapolitan yellow tuff. Industrial Minerals 186, p. 47-53.
- Gennaro, M. de', Fuscaldo, M.D. & Colella, C., 1993. Weathering mechanisms of monumental tuff-stone masonries in downtown Naples. Science and Technology for Cultural Heritage 2, p. 53-62.
- Geuer, H., 2001. Niet gepubliceerde compilatie van mineralen voorkomend Oin de oost Eifel.
- Hambloch, A., 1903. Der rheinische Tra_ als hydraulischer Zuschlag. Andernach.
- Hartog, E. den, 2002. De oudste kerken van Holland. Van kerstening tot 1300. Matrijs, Utrecht, 288 pp.
- Koch, R., Sobott, R. & Kisch, H., 2001. Untersuchung von zwei Tuff-Bohrkernen (Jbach 2014 und 2015) der Objekte von der Domkirche Hertogenbosch. Niet gepubliceerd rapport, Institut für Paläontologie, Universität Erlangen.
- Lamprecht, H.O., 1996. Opus caementitium. Bautechnik der Römer. 5e druk, Verlag Bau + Technik, Düsseldorf, 264 pp.
- Michaelis, W., 1895. Die hydraulischen Mörtel, insbesondere der Portlandzement.
- Muller, F., 1999. Schäden an Naturstein. Verwitterungsverhalten von Tuffstein. TNO Bouw rapport 1999-BT-R0050, 60 pp.
- Nijland, T.G. & Hees, R.P.J. van 2003. Beoordeling van Weiberner en Römer tufsteen ten behoeve van de restauratie van de St. Janskathedraal te 's-Hertogenbosch. TNO Bouw rapport 2003-CI-R0042, 20 pp.
- Olde, H. de, 2002. Tufstenen kerken in Groningen. Groninger Kerken 19, nr. 1, p. 4-30.
- Olde, H. de, 2003. Tufstenen kerken in Groningen, een nalezing. Groninger Kerken 20, nr. 1, p. 15-19.
- Passaglia, E., Pongiluppi, D. & Rinaldi, R., 1977. Merlinoite, a new mineral of the zeolite group. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte, p. 355-364.
- Peeters, C., 1985. De Sint Janskathedraal te 's-Hertogenbosch. SDU, Den Haag, 498 pp.
- Rossi-Manaresi, R., 1976. Causes of decay and conservation treatments of the tuff of Castel dell'Ovo in Naples. Proceedings 2e Symposium on the Deterioration of Building Stones, Athene, p. 233-248.
- Schmincke, H.U., 1988. Vulkane im Laacher See-Gebiet. Ihre Entstehung und heutige Bedeutung. Doris Bode Verlag, Haltern, 119 pp.
- Slinger, A., Janse, H. & Berends, G., 1980. Natuursteen in monumenten. Rijksdienst voor de Monumentenzorg, Zeist / Bosch & Keuning, Baarn, 120 pp.

MTN-Giethoorn

Importeur LORTONE® Steenbewerkingsmachines

Kanaaldijk 18
8355 VJ Giethoorn
Tel: 0521-361544
Fax: 0521-362105



Ruim 32 jaar LORTONE® (èn de service) in Nederland
Standhouder op de meeste Nederlandse mineraalbeurzen

**Grote collectie zilveren sieraden
met en zonder edelstenen** (veel eigen ontwerpen)

*Estwing geologen gereedschap
Kunststof standaards en opbergdoosjes
Edelsteenhangars
Ruwe mineralen: slijpbaar voor trommel en cabochons
Furnituren o.a. zilveren
Cabochons en trommelstenen
Microscopen en Loepen en meer...*

Bezoek onze showroom (na tel. afspraak vragen naar Elly ten Napel of Thoni Meijer)
of neem een kijkje op onze internet-site: <http://www.mtn.nl> • E-mail: info@mtn.nl